Progress Notes **Canadian Wildlife Service**

Progress Notes contain *interim* data and conclusions and are presented as a service to other wildlife biologists and agencies.

Disponible également en français

No. 151, January 1985

Comparison of survey techniques for burrow-nesting seabirds

by J.-P.L. Savard[1] and G.E.J. Smith[1]

Abstract

The accuracy and efficiency of four survey methods (quadrat, transect, point-centred quarter, and Batcheler's) are compared in two colonies of burrow[illegible]g seabirds. Plots and transects oriented para[illegible] the shoreline were more variable than those orie[illegible] perpendicularly. Small plots provided a more precise estimate of burrow density than large plots for a similar sampling effort (total area sampled). Systematic sampling yielded more precise estimates than random sampling. Both plotless techniques over-estimated the density of burrows in one area and showed no significant difference in the other. Estimates derived from quadrats and transects were more accurate than those obtained from the point-centred and Batcheler's methods.

Introduction

Literature on sampling techniques for burrow-nesting seabirds is scarce. Nettleship (1976) summarized a few techniques used to survey seabirds in arctic and eastern Canada, and proposed the use of quadrats and transects to estimate burrow density. In the course of various seabird projects along the coast of British Columbia, we gathered incidental data on the efficiency of various sampling techniques. In view of the shortage of literature, we present our preliminary findings in the hope that these will help future surveys and encourage research in this area. We collected the data with three goals in mind: first, to look at plot variability as a function of plot size and orientation; second, to compare the relative efficiency of random and systematic sampling schemes; and third, to look at the relative performances of plot and plotless techniques.

Study area

We collected the data on two seabird islands in British Columbia. Pine Island, in the Queen Charlotte Strait, harbours a breeding colony of Rhinoceros Auklets estimated at 15 000 pairs (Campbell 1976). It is a forested island, and birds breed on slopes with sparse undergrowth, which facilitated our finding the burrows. Triangle Island, in the Queen Charlotte Sound 30 km from the northwest tip of Vancouver Island, supports a colony of Cassin's Auklets estimated at 359 000 pairs (Vermeer *et al.* 1979). The island is devoid of trees and is characterized by steep talus slopes covered with different communities of herbaceous vegetation (see Vermeer *et al.* 1979 for a detailed description of habitat). The field work was done in 1979 and 1982.

Methods

We compared the accuracy (how close the estimate was to the real value) and the precision (how variable was the estimate) of four sampling techniques. Two were plot techniques — quadrats and transects, and two were plotless — the point-centred quarter method (Cottam and Curtis 1956, Mueller-Dombois and Ellenberg 1974) and Batcheler's method (Batcheler 1971, 1973). On Pine Island, we established a sampling grid of 40 m x 40 m, divided it into contiguous 2 m x 2 m quadrats, and counted the number of burrows in each quadrat. This grid was used as our sampling universe, within which we could study and compare various sampling schemes, allowing us to look at: (1) the relative efficiency of different quadrat sizes, (2) the effect of plot and transect orientation on the variability of resulting estimates, (3) the relationship between the plot and plotless techniques, and (4) the relative precision of random, systematic, and stratified sampling designs.

Further, to study the effect of transect orientation on precision in another portion of the Pine Island colony, we established 13 transects of 1 m x 50 m parallel to the shoreline, and six transects of 1 m x 150 m perpendicular to the shoreline in the same way. Similarly, we compared the plot and plotless techniques in two other sections of the colony. On Triangle Island, we compared the quadrat, transect, and Batcheler's methods in five different habitats.

Burrow densities were high in all areas sampled. The fact that burrows were easy to locate minimized observers' biases. Also, all measurements from the grid and from the parallel perpendicular transects were made by a single observer to further reduce any observers' effects. However, on Triangle Island several observers participated in the measurements, which may have increased the variability of the results.

Estimation procedures

For plot methods, we considered three sampling designs: random, systematic, and stratified with one quadrat per stratum. We calculated the variance of the estimated burrow density for random sampling by using equation (2.8) in Cochran (1977); and for stratified sampling, equation (5.6) in Cochran (1977). For systematic sampling, we calculated the estimates of burrow density for all possible random starts and then computed their variance.

We compared the various plot methods by determining what precision could be obtained for a given level of effort. In the sampling schemes, the effort, E, can be roughly divided into three components:

[1]CWS, Delta, British Columbia V4K 3Y3.

Environment Canada Environnement Canada
Canadian Wildlife Service Service canadien de la faune

$E = E_1 + E_2 + E_3$

where E_1 = effort required to find and count burrows,
E_2 = effort required to set up and delineate plots,
E_3 = effort required to move from one plot to the next and locate it.

E_1 is proportional to the total area of all the plots. E_2 is also approximately proportional to the total area, as large plots must be subdivided into many small ones to aid the counting procedure. In our study, we sampled an entire 40 m × 40 m grid of 2 m × 2 m plots, hence movement between plots and set-up time for plots would not be the same as if only one sample were done. However, experience indicates that in the terrain surveyed, E_3 was small with respect to E_1 and E_2. Hence it follows that total effort, E, will be proportional to the total area sampled.

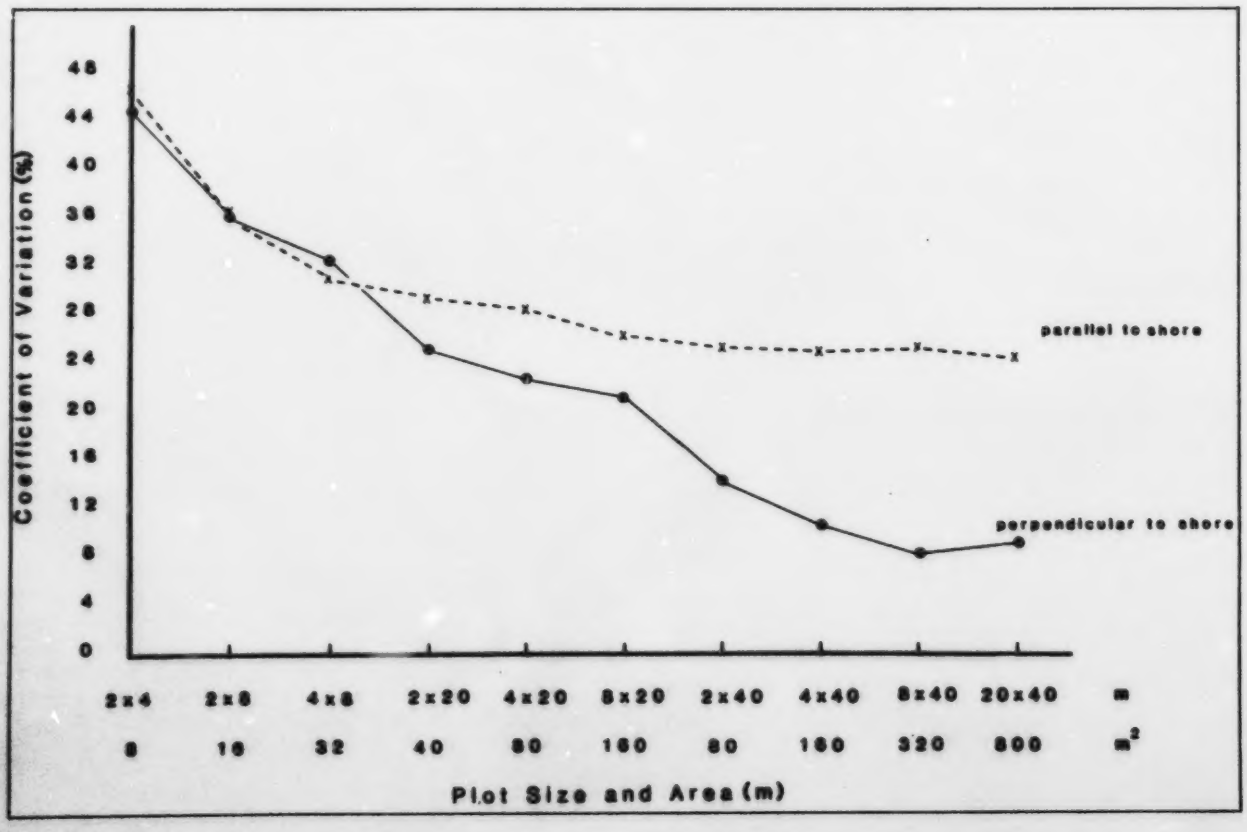
The analysis was done on a Decision 1 microcomputer with programs written in BASIC. For the two plotless methods the estimates and their precision are given in Mueller-Dombois and Ellenberg (1974) and Batcheler (1971).

Results

Plot variability in relation to orientation

Plots oriented parallel to the shoreline were more variable than those oriented perpendicularly (Fig. 1). The longer the plot, the greater the difference. Transects showed similar differences (Table 1).

Figure 1
Plot variability in relation to size and orientation

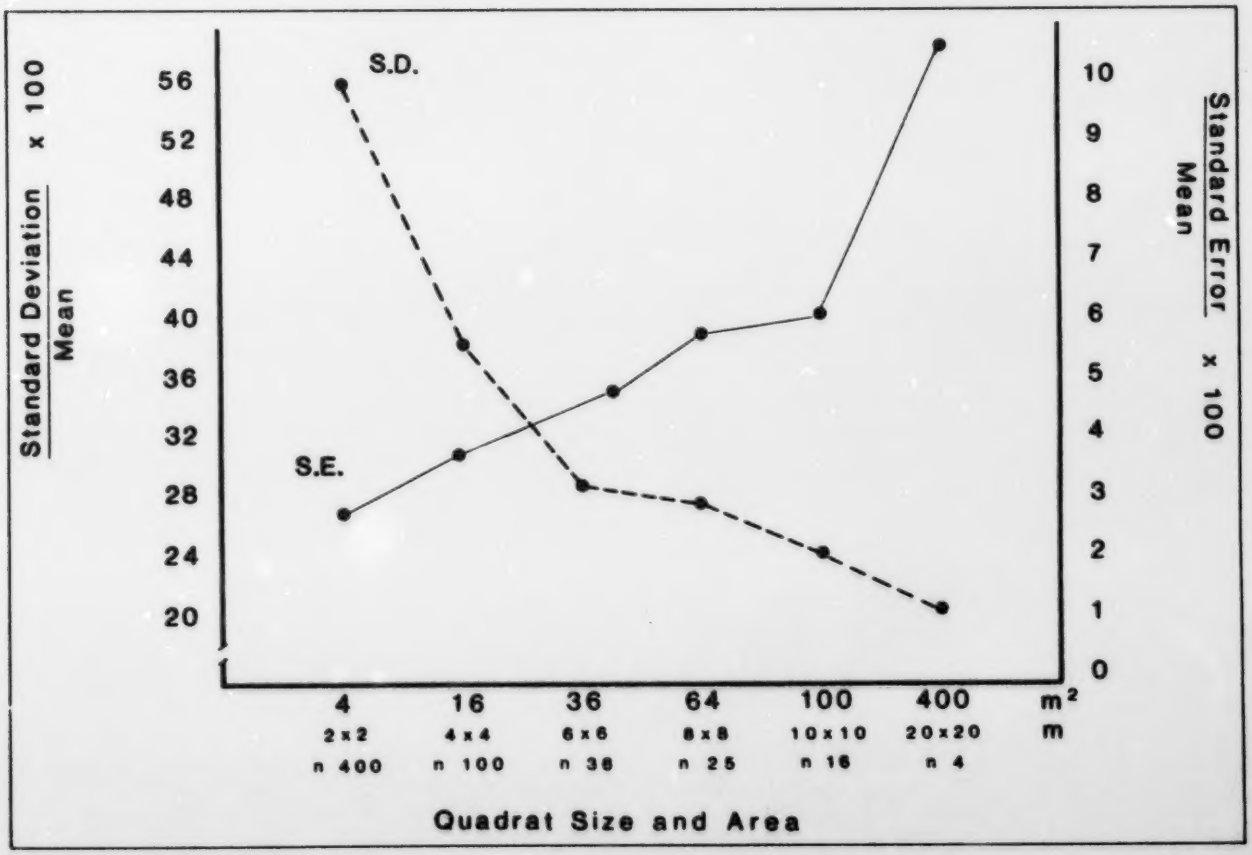


Plot variability in relation to size

Large plots were less variable than small ones (Fig. 2). However, for a similar sampling effort (total area sampled) small plots provided a more precise estimate of burrow density. The greater variability of the small plots was more than compensated for by the greater sample size obtained when censusing a given area; i.e. an area of 1600 m^2 can contain 400 plots of 4 m^2 compared with only 16 plots of 100 m^2.

The sampling effort (as measured by the size of the area sampled) required to detect a given change in burrow density is less with small plots than with large plots (Table 2). To determine the effort necessary, we set the type I error (the probability that the data will show a change when there is none) at 0.05, and the type II error (the probability that a change will not be detected when it exists) at 0.10. Table 2 shows the effort required to detect changes of 10, 20, and 30%, and compares it with the effort required for 95% confidence limits (type I error of 0.05) on the estimate to be within 10, 20, and 30% of the estimated density. For example, to detect a given change in the number of burrows, it is necessary to sample an area twice as large with 16 m^2 quadrats as one with 4 m^2 quadrats. The methods for estimating sample sizes are described in Eberhardt (1978) and section 4.13 of Snedecor and Cochran (1967).

Figure 2
Plot variability in relation to quadrat size



Comparison of systematic, random, and stratified sampling with one observation per stratum

For this comparison, we proceeded as follows. First we combined the data into a given quadrat size (2 x 2, 4 x 4, etc.). Then we chose a rectangular block, say R quadrats deep (perpendicular to the shore) by C quadrats wide (parallel to the shore), and calculated the variance for:

(1) a systematic design where the sampling interval was R quadrats deep and C quadrats wide, i.e. the sampling fraction was $1/RC$;

(2) a stratified sample (one unit per stratum) where each stratum was R quadrats wide and C quadrats deep; and

(3) a random sample with sampling fraction $1/RC$.

Then for each possible value of R and C we computed the variances corresponding to the three designs. To obtain a feeling for the relative precision of the three procedures, a "variance index" was formed for each R and C by multiplying the variance corresponding to each sample design by 100/(the sum of the three variances). Thus the sum of the three indices is 100. The average index over all R and C for stratified, systematic, and random sampling is given in Table 3. Here we see that, generally, the variance index for systematic sampling is about the same as for stratified sampling with one observation per stratum. Both of these designs yielded much more precise estimates than random sampling.

Comparison of plot and plotless techniques

Both plotless techniques over-estimated the density of burrows in the grid (Table 4). The quadrats estimated accurately the actual density. The patterns were similar in both random and systematic sampling. In another portion of the colony (Table 5), the plotless techniques gave lower density estimates not significantly different ($p > 0.05$) from the transect techniques. However, all three techniques reflected the difference in burrow density between the two habitats.

Results from Triangle Island were more variable because, though all the techniques were compared in similar habitats, they were done in different locations within those habitats. We found marked differences between the techniques in which relative performance varied with the habitat (Table 6). Again Batcheler's techniques gave lower estimates than quadrats or transects, which showed similar results.

Discussion

In the colonies sampled, the largest gradient of density was from shore to inland. Density levels at a given distance from the shore tended to be more constant. This distribution gradient explains why density estimates derived from transects perpendicular to the shore were less variable than those derived from transects parallel to the shore. This follows from the sampling theory that in order to reduce the variability between them, transects should always be oriented across the density gradient. In this way, though variability within the transect from one end to the other may be great, variability between transects, and hence the variance, will be reduced.

Ideal quadrat sizes vary according to the distribution of the organisms to be counted. Kershaw (1975) indicated that in completely random distribution, all quadrat sizes were equally efficient in sampling, but that in clumped distribution the variance was influenced by quadrat size, being greater when quadrat size approximated mean clump size. However, sampling effort tends to be proportional to quadrat size. As we increase quadrat size, we reduce the number of quadrats that we can measure. We also increase the likelihood of missing burrows, especially in heavy vegetation (Harris and Murray 1981). Results here indicate that small quadrats provided a more precise estimate of density. This follows because with small quadrats the areas chosen for the sample were spread more over the colony and, because there were gradients of burrow density, we had a better chance of obtaining a representative sample. There is, however, a lower limit to quadrat size. Edge problems increase with a decrease in quadrat size, and subjective judgements as to whether a given burrow is inside or outside the quadrat may produce a significant bias.

When gradients are present, systematic sampling is generally more precise because it tends to sample the population more uniformly than random sampling, which is often difficult to apply in the field. However there are two weaknesses in systematic sampling: (1) it provides estimates with very high variances if there are serial patterns in the distribution of burrows, and (2) it does not offer unbiased procedures for estimating the variance.

Bourdeau (1953) indicates that sometimes the sacrifice in precision when using random sampling is compensated for by the possibility of soundly assessing the error of sampling. Kingsley and Smith (1981) indicate that in many instances an upper limit on the precision can be estimated for systematic procedures.

Quadrats and transects provided accurate estimates of burrow densities, whereas the point-quarter and Batcheler's methods tended to over-estimate density. Elsewhere, plotless techniques have been shown to over-estimate uniformly spaced populations and to under-estimate clumped ones (Cottam and Curtis 1956, Pielou 1959, Batcheler 1971). They are designed for sampling random or mildly clumped populations.

Conclusions

(1) In this study, orienting the transects roughly perpendicularly to the shoreline proved to be the most efficient method. This is because the highest density gradients were in this direction.

(2) When little effort is needed to locate plots and move between them, small quadrats are to be preferred to large ones. If the terrain were more difficult to traverse, an optimum plot size would make smaller plots less efficient.

(3) Plotless techniques should be used cautiously until more work is done on their performance in the field. In our study they gave biased results.
(4) A systematic sampling scheme proved to be at least as precise as a stratified scheme, and would involve much less work because strata would not have to be delineated.
(5) The advantages of random sampling over systematic sampling are:
(a) approximately unbiased estimates of precision and hence better potential for inference, and
(b) no possibility of a regular variation in population density corresponding to the sampling pattern.
(6) The advantages of systematic sampling over random sampling are:
(a) because there are generally large gradients in seabird nesting population densities, due to type of habitat, altitude, distance from the shore, etc., and because the possibility of the sampling interval in a systematic scheme corresponding to a regular variation in the population is remote, systematic sampling is much more precise than random sampling;
(b) it is also easier to locate sampling quadrats in the field by systematic rather than random sampling, and thus it has greater advantages in terms of precision per unit of effort than this paper may indicate.
(7) Overall, a systematic procedure proved to be more accurate and precise than a random sampling scheme or plotless techniques did.

Acknowledgements
We are grateful to D. Alcroft, D. Powell, and D. Bertram for their field assistance, and thank B. Foster for the authorization to work on the Anne Vallee Ecological Reserve, and the Canadian Coast Guard for providing accommodation on Pine Island. We also thank P. Whitehead for drafting the figures, and G. Kaiser, A. Gaston, B. Collins, and A. Diamond for their comments on earlier drafts of the manuscript.

References
Batcheler, C.L. 1971. Estimation of density from a sample of joint point and nearest-neighbour distances. Ecology 52:703–709.

Batcheler, C.L. 1973. Estimating density and dispersion from truncated or unrestricted joint point-distance, nearest-neighbour distances. Proc. NZ Ecol. Soc. 20:131–147.

Bourdeau, P.F. 1953. A test of random versus systematic ecological sampling. Ecology 34:499–512.

Campbell, R.C. 1976. Sea-bird colonies of Vancouver Island area. BC Prov. Mus. Spec. Publ. Victoria. Map.

Cochran, W.G. 1977. Sampling techniques (3rd ed.) John Wiley and Sons, New York and Toronto.

Cottam, G.; Curtis, J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology 37: 451–460.

Eberhardt, L.L. 1978. Appraising variability in population studies. J. Wildl. Manage. 42(2): 207–238.

Harris, M.P.; Murray, S. 1981. Monitoring puffin numbers at Scottish colonies. Bird Study 28: 15–20.

Kershaw, K.A. 1975. Quantitative and dynamic plant ecology. Am. Elsevier Publ. Co. Inc., New York.

Kingsley, M.C.S.; Smith, G.E.J. 1981. Analysis of data arising from systematic transect surveys. *In* Symposium on census and inventory methods for populations and habitats. For. Wildl. Range Exp. Stn. Univ. Idaho, Moscow, Id. Contrib. No. 217.

Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, New York and Toronto.

Nettleship, D.N. 1976. Census techniques for seabirds of arctic and eastern Canada. Can. Wildl. Serv. Occas. Pap. No. 25.

Pielou, E.C. 1959. The use of point-to-point distances in the study of the pattern of plant populations. J. Ecol. 47:607–613.

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1967. Statistical methods. Iowa State Univ. Press.

Vermeer, K.; Vermeer, R.A.; Summers, K.R.; Billings, R.R. 1979. Numbers and habitat selection of Cassin's Auklet breeding on Triangle Island, British Columbia. Auk 96:143–151.

Table 1
Comparison of the precision of transects oriented perpendicular and parallel to shore

Orientation	n	Transect size (m)	Area sampled (m^2)	Burrow density (burr/ 100 m^2) ± SE*	Coefficient of variation (%)
Perpendicular to shore	6	1x150	900	62 ± 5	22
Parallel to shore	13	1x50	650	65 ± 10	57

* SE = Standard error.

Table 2
Sampling effort in relation to quadrat size

(a) Type I error = 0.05; type II error = 0.10

Quadrat			Effort required to detect change of					
			30%		20%		10%	
Size (m)	Area (m^2)	CV* (%)	n	Area (m^2)	n	Area (m^2)	n	Area (m^2)
2x2	4	57	62	248	140	560	557	2228
4x4	16	39	29	464	66	1056	261	4176
8x8	64	28	15	960	34	2176	135	8640

(b) Type I error = 0.05 (i.e. 95% confidence limits)

Quadrat			Effort required for confidence limits to be within % of mean					
			30%		20%		10%	
Size (m)	Area (m^2)	CV* (%)	n	Area (m^2)	n	Area (m^2)	n	Area (m^2)
2x2	4	57	14	56	32	128	125	500
4x4	16	39	7	112	15	240	59	944
8x8	64	28	4	256	8	512	31	1984

* CV = Coefficient of variation.

Table 3
Comparison of the precision of random and systematic samples, showing relative magnitude of variance

Quadrat size (m)	Sampling pattern		
	Stratified	Systematic	Random
2 x 2	34	16	51
4 x 4	30	24	47
8 x 8	18	27	56
2 x 4	31	21	48
2 x 8	25	26	49
4 x 8	23	27	50
2 x 40	29	7	64
4 x 40	21	21	58
8 x 40	24	27	49
Average	26	22	52

Table 4
Comparison of plot and plotless techniques in the Pine Island grid*

Method	Density estimate of Rhinoceros Auklets' burrows/100 m^2 ± SE†		
	Quadrat (2 x 2) n = 100	Point-centred n = 90	Batcheler's n = 90
Systematic	85 ±2	104 ±5	119 ±19
Random	85 ±4	105 ±5	128 ±18

* Total count of the grid gave 85 burrows/100 m^2.
† SE = Standard error.

Table 5
Comparison of plot and plotless techniques in two habitats on Pine Island

Habitat	Rhinoceros Auklet (no. of burrows/100 m^2) ± SE*		
	Transect†	Point-centred‡	Batcheler's‡
A	54 ± 4	48 ± 6	50 ± 4
B	98 ± 8	81 ± 8	82 ± 16

* SE = Standard error.
† n = 6, each 50 m long.
‡ n = 23 sampling points.

Table 6
Comparison of quadrats, transects, and Batcheler's techniques in different habitats of Triangle Island

Habitat	Density estimate (burrows/100 m^2), Cassin's Auklet			
	Batcheler's*			
	Unadjusted	Adjusted	Quadrat†	Transect‡
A	256 ± 59 n = 26	290 ± 59 n = 26	428 ± 21 n = 25	325 ± 20 n = 3
B	11 ± 3 n = 26	14 ± 3 n = 26	135 ± 20 n = 25	184 ± 25 n = 5
C	81 ± 5 n = 24	47 ± 5 n = 24	142 ± 19 n = 25	118 n = 1
D	75 ± 4 n = 17	38 ± 4 n = 17	146 ± 17 n = 25	136 n = 1
E	121 ± 5 n = 24	60 ± 5 n = 24	96 ± 15 n = 25	102 n = 1

* See Batcheler (1973).
† 1 m^2 square quadrat.
‡ 2 x 50 m transect.

Progress Notes **Canadian Wildlife Service**

Progress Notes contain *interim* data and conclusions and are presented as a service to other wildlife biologists and agencies.

Also available in English

Nº 151, janvier 1985

Comparaison de techniques de recensement des oiseaux de mer nichant dans des terriers

par J.-L. Savard[1] et G.E.J. Smith[1]

Résumé

On a comparé l'exactitude et l'efficacité de quatre méthodes de recensement (par quadrats, par transects, de la distance du point central à l'intérieur de quadrants et de Batcheler) en les appliquant à deux colonies d'oiseaux de mer nichant dans des terriers. Les parcelles et transects parrallèles au rivage ont donné des résultats plus variables que les parcelles et transects perpendiculaires. Pour un effort d'échantillonnage similaire (superficie totale couverte), les petites parcelles ont donné une évaluation plus précise de la densité des terriers que les parcelles plus étendues. De même, l'échantillonnage systématique a produit des résultats plus précis que l'échantillonnage aléatoire. Les deux techniques sans parcelle ont surévalué la densité des terriers à un endroit, mais leurs évaluations n'étaient pas significativement différentes de la densité réelle à l'autre. Les évaluations obtenues à l'aide des quadrats et des transects sont plus exactes que celles fournies par les deux autres méthodes.

Introduction

La documentation sur les techniques d'échantillonnage des oiseaux de mer nichant dans des terriers est peu abondante. Nettleship (1976) a présenté un résumé de quelques techniques employées pour le recensement des oiseaux de mer dans l'Arctique et dans l'est du Canada, et a recommandé l'utilisation des quadrats et des transects pour évaluer la densité des terriers. À l'occasion de divers travaux relatifs aux oiseaux de mer le long de la côte de la Colombie-Britannique, nous avons pu observer l'efficacité de diverses techniques d'échantillonnage. Compte tenu du peu d'informations publiées sur le sujet, nous avons décidé de présenter nos observations préliminaires en espérant qu'elles pourront être utiles aux recensements à venir et que cela encouragera la recherche dans ce domaine. Nous avions trois objectifs en recueillant les données : 1) étudier la variabilité entre les parcelles en fonction de leurs dimensions et de leur orientation; 2) comparer l'efficacité relative des plans d'échantillonnage aléatoire et systématique; et 3) examiner les performances relatives des techniques avec et sans parcelles.

Régions à l'étude

Les données ont été recueillies dans deux îles de la Colombie-Britannique colonisées par des oiseaux de mer. Dans l'île Pine, située dans le détroit de la Reine-Charlotte, on trouve une colonie d'Alques à bec cornu évaluée à 15 000 couples (Campbell, 1976). Dans cette île à végétation forestière, les oiseaux nichent sur les talus où le sous-bois est peu dense, ce qui a facilité le repérage des terriers. L'île Triangle, située dans le détroit de la Reine-Charlotte, à 30 km de la pointe nord-ouest de l'île de Vancouver, abrite une colonie d'Alques de Cassin évaluée à 359 000 couples (Vermeer *et al.*, 1979). Cette île est dépourvue d'arbres et se caractérise par des talus d'éboulis abrupts abritant différentes communautés de plantes herbacées (voir Vermeer *et al.*, 1979, pour une description détaillée de l'habitat). Des travaux y ont été effectués en 1979 et en 1982.

Méthodes

Nous avons comparé l'exactitude (la proximité de l'estimation de la valeur réelle) et la précision (la variabilité de l'estimation) de quatre techniques d'échantillonnage : deux techniques avec parcelles, c'est-à-dire par quadrats et par transects; et deux techniques sans parcelle, c'est-à-dire la méthode de la distance du point central à l'intérieur de quadrants (Cottam et Curtis, 1956; Mueller-Dombois et Ellenberg, 1974) et la méthode de Batcheler (Batcheler, 1971; 1973). À l'île Pine, nous avons établi une grille d'échantillonnage de 40 m × 40 m que nous avons divisé en quadrats de 2 m × 2 m, puis nous avons compté le nombre de terriers dans chaque quadrat. Cette grille représentait notre territoire d'échantillonnage à l'intérieur duquel nous avons pu étudier et comparer divers plans d'échantillonnage et, en particulier, d'examiner: 1) l'efficacité relative de quadrats de diverses grandeurs; 2) l'effet de l'orientation des parcelles et des transects sur la variabilité des évaluations obtenues; 3) les relations entre les techniques avec et sans parcelles; 4) la précision relative des modes d'échantillonnage aléatoire, systématique et stratifié.

De plus, afin d'étudier l'effet de l'orientation des transects sur la précision dans une autre partie de la colonie de l'île Pine, nous avons établi 13 transects de 1 m × 50 m parallèles au rivage, et six transects de 1 m × 150 m perpendiculaires au rivage. De même, nous avons comparé les techniques avec et sans parcelles dans deux autres parties de la colonie. À l'île Triangle, nous avons comparé les méthodes par quadrats, par transects et la méthode de Batcheler dans cinq habitats différents.

La densité des terriers était élevée à tous les emplacements d'échantillonnage. La facilité de repérage des terriers a réduit au minimum les biais dus aux observateurs. Par ailleurs, tous les dénombrements affectués à l'aide d'une grille et dans les transects

[1] SCF, Delta, Colombie-Britannique, V4K 3Y3.

Environment Canada Environnement Canada
Canadian Wildlife Service Service canadien de la faune

perpendiculaires et parallèles ont été confiés à une seule personne de façon à réduire encore plus la variabilité due à l'observateur. Toutefois, à l'île Triangle, plusieurs observateurs ont participé aux recensements, ce qui a pu entraîner une variabilité plus élevée des résultats.

Modes d'évaluation

Pour les méthodes par parcelles, nous avons examiné trois plans d'échantillonnage, soit les plans aléatoire, systématique et stratifié, avec un quadrat par strate. Nous avons calculé la variance de la densité estimative des terriers avec l'équation [2.8] donnée par Cochran (1977) dans le cas de l'échantillonnage aléatoire, et avec l'équation [5.6] donnée par le même auteur pour l'échantillonnage stratifié. Pour l'échantillonnage systématique, nous avons évalué la densité des terriers en prenant toutes les origines aléatoires possibles, puis nous avons calculé leur variance.

Nous avons comparé les diverses méthodes avec parcelles, en déterminant la précision possible pour un niveau donné d'effort. L'effort d'échantillonnage, E, peut se diviser à peu près en trois éléments :

$$E = E_1 + E_2 + E_3$$

où E_1 = effort requis pour repérer et compter les terriers;

E_2 = effort requis pour établir et délimiter les parcelles;

E_3 = effort requis pour aller d'une parcelle à la suivante et pour déterminer l'emplacement de cette dernière.

E_1 est proportionnel à la superficie totale de toutes les parcelles. E_2 est également approximativement proportionnel à la superficie totale, étant donné que les parcelles étendues doivent être subdivisées en plusieurs petites parcelles pour faciliter le dénombrement. Dans notre étude, nous avons échantillonné une grille entière de 40 m × 40 m subdivisée en parcelles de 2 m × 2 m; par conséquent, les déplacements entre les parcelles et le temps d'établissement de celles-ci ne sont pas comparables dans le cas où il s'agirait d'un seul échantillon. Toutefois, l'expérience indique que sur le terrain d'étude, E_3 était faible par comparaison à E_1 et E_2. L'effort total, E, sera donc proportionnel à la superficie totale du territoire d'échantillonnage.

Un micro-ordinateur Decision 1 et des programmes rédigés en BASIC ont été employés pour l'analyse. Pour les deux méthodes sans parcelle, des détails sur les évaluations et leur précision sont donnés dans Mueller-Dombois et Ellenberg (1974) et dans Batcheler (1971).

Résultats

Variabilité en fonction de l'orientation des parcelles

Les parcelles parallèles au rivage ont présenté une plus grande variabilité que les parcelles perpendiculaires (figure 1). Plus la parcelle était longue, plus la différence était grande. Les transects ont présenté des différences similaires (tableau 1).

Variabilité en fonction des dimensions des parcelles

On a constaté une variabilité plus faible lorsque les parcelles étaient plus grandes (figure 2). Toutefois, pour un effort d'échantillonnage similaire (superficie totale couverte), les petites parcelles ont donné une évaluation plus précise de la densité des terriers. La plus grande variabilité des petites parcelles est plus que compensée par la plus grande taille de l'échantillon obtenu lorsqu'on fait un recensement sur une étendue donnée; ainsi, un territoire de 1600 m^2 peut être divisé en 400 parcelles de 4 m^2, mais en seulement 16 de 100 m^2.

L'effort d'échantillonnage (superficie) nécessaire pour déceler une variation donnée de la densité des terriers est moins élevé dans le cas des petites parcelles (tableau 2). Pour déterminer l'effort nécessaire, nous posons l'erreur de type I (probabilité que les données indiqueront une variation losrqu'il n'en existe pas) égale à 0,05 et l'erreur de type II (probabilité qu'une variation réelle ne soit pas décelée) égale à 0,10. Le tableau 2 indique l'effort requis pour déceler des variations de 10, 20 et 30 % et, par comparaison, l'effort requis pour que les limites de confiance à 95 % (erreur de type I égale à 0,05) de l'évaluation ne s'écartent pas de plus de 10, 20 et 30 % de la densité estimative. Par exemple, avec des quadrats de 16 m^2, il est nécessaire d'échantillonner un territoire deux fois plus étendu qu'avec des quadrats de 4 m^2 pour déceler une variation donnée du nombre des terriers. Les méthodes d'évaluation de la taille des échantillons ont été décrites par Eberhardt (1978) ainsi que par Snedecor et Cochran (1967, section 4.13).

Comparaison des plans d'échantillonnage systématique, aléatoire et stratifié avec une observation par strate

Pour effectuer cette comparaison, nous avons procédé comme suit : premièrement, les données ont été combinées en fonction de quadrats de dimensions données (2 × 2, 4 × 4, etc.); puis, un bloc rectangulaire du R quadrats de profondeur (perpendiculaires au rivage) sur C quadrats de largeur (parallèles au rivage) a été choisi, et la variance a été calculée pour :

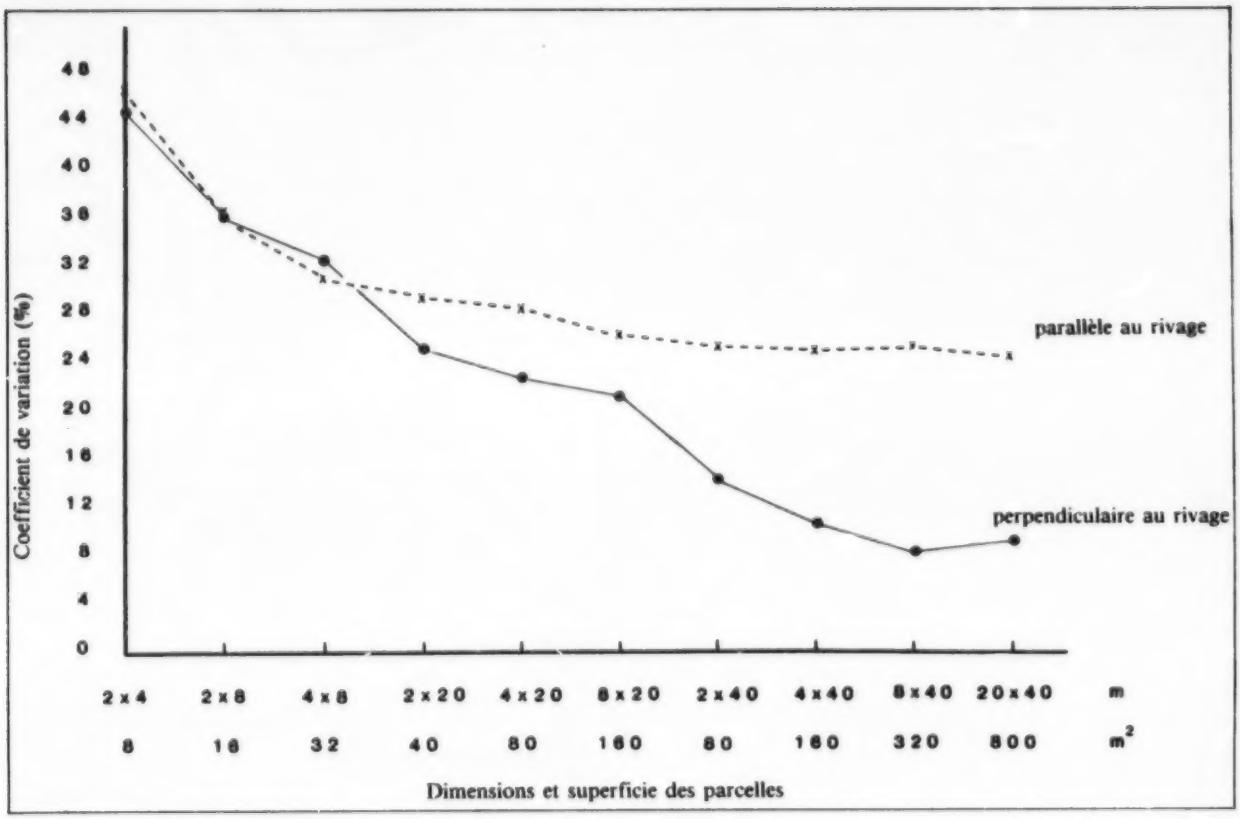
1) un plan d'échantillonnage systématique où l'intervalle d'échantillonnage est de R quadrats de profondeur et de C quadrats de largeur (fraction d'échantillonnage de $1/RC$);

2) un échantillon stratifié (un élément par strate) où chaque strate est de R quadrats de largeur et de C quadrats de profondeur; et

3) un échantillon aléatoire avec une fraction d'échantillonnage de $1/RC$.

Ensuite, pour chaque valeur possible de R et de C, les variances correspondant aux trois plans d'échantillonnage ont été calculées. Pour avoir une idée de la précision relative des trois plans, nous avons calculé un «indice de la variance» pour chaque valeur de R et de C, en multipliant la variance déterminée pour chaque plan par 100, puis en divisant par la somme des variances des trois plans. La somme des trois indices doit donc

Figure 1
Variabilité entre les parcelles en fonction des dimensions et de l'orientation



donner 100. La moyenne des indices pour toutes les valeurs de *R* et de *C* pour chaque plan d'échantillonnage est donnée au tableau 3. Nous pouvons constater qu'en général, l'indice de la variance pour l'échantillonnage systématique est à peu près le même que pour l'échantillonnage stratifié à une observation par strate. Ces deux plans d'échantillonnage ont donné des évaluations beaucoup plus précises que l'échantillonnage aléatoire.

Comparaison des techniques avec et sans parcelles

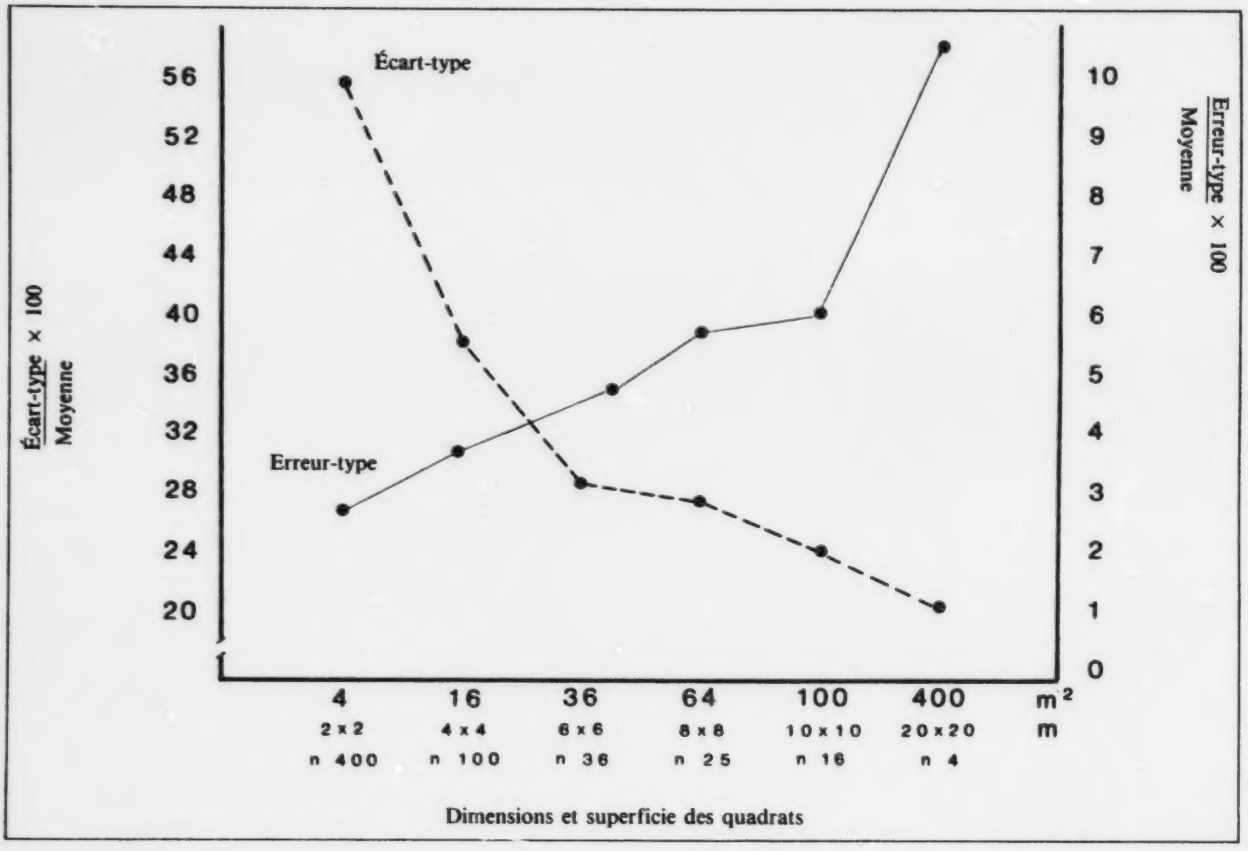
Les deux techniques sans parcelle ont surévalué la densité des terriers dans la grille (tableau 4). Les quadrats ont évalué avec exactitude la densité réelle. Les tendances étaient similaires pour les échantillonnages aléatoire et systématique. Dans une autre partie de la colonie (tableau 5), les techniques sans parcelle ont indiqué des densités plus faibles que les techniques par transects, mais les différences ne sont pas significatives ($p > 0,05$). Toutefois, les trois techniques ont rendu compte de la différence de densité des terriers entre les deux habitats.

À l'île Triangle, même si toutes les techniques ont été comparées dans des habitats similaires, les résultats sont plus variables, car ils ont été obtenus à des emplacements différents dans ces habitats. On remarque des différences marquées entre les techniques, la performance relative variant suivant l'habitat (tableau 6). Encore une fois, les techniques de Batcheler ont produit des évaluations plus faibles que les quadrats et les transects pour lesquels les résultats ont été similaires.

Analyse

Dans les colonies échantillonnées, le gradient de densité le plus élevé était dans le sens du rivage vers l'intérieur. À une certaine distance du rivage, la densité avait tendance à être plus constante. Ce gradient de distribution explique pourquoi les évaluations provenant des transects perpendiculaires au rivage étaient moins variables que celles qui ont été obtenues des transects d'orientation parallèle. Cela suit la théorie de l'échantillonnage selon laquelle on doit toujours orienter les transects dans le sens du gradient de den-

Figure 2
Variabilité entre les parcelles en fonction des dimensions des quadrats



sité pour réduire la variabilité entre ceux-ci. De cette façon, même si la variabilité à l'intérieur du transect est grande d'une extrémité à l'autre, la variabilité entre les transects et, par conséquent, la variance sont plus faibles.

La grandeur idéale des quadrats varie en fonction de la distribution des organismes à recenser. Kershaw (1975) a indiqué que dans le cas d'une répartition totalement aléatoire, il n'y avait pas de dimensions plus efficaces, mais que dans le cas d'une répartition groupée, la dimension des quadrats avait un effet sur la variance, celle-ci étant plus élevée lorsque la dimension des quadrats était à peu près égale à la dimension moyenne des zones de concentration. Toutefois, l'effort d'échantillonnage tend à être proportionnel à la dimension des quadrats. En augmentant leur dimension, on diminue le nombre des quadrats qui peuvent être échantillonnés. On augmente également la probabilité d'«oublier» des terriers, surtout aux endroits où la végétation est dense (Harris et Murray, 1981).

Nos résultats indiquent que les petits quadrats ont fourni une évaluation plus précise de la densité. Cela s'explique du fait qu'avec de petits quadrats, les étendues choisies pour l'échantillon sont mieux réparties dans la colonie. Et comme la répartition des terriers présente des gradients de densité, nous avons une meilleure chance d'obtenir un échantillon représentatif. Il y a toutefois un minimum à la grandeur des quadrats. Les problèmes de lisière augmentent avec la diminution des quadrats, et les décisions subjectives lorsqu'on est incertain si un terrier se trouve à l'intérieur ou à l'extérieur du quadrat peuvent entraîner un biais important.

En présence de gradients, l'échantillonnage systématique est généralement plus précis, car il tend à échantillonner la population de façon plus uniforme que l'échantillonnage aléatoire, lequel est souvent difficile à appliquer sur le terrain. Par ailleurs, l'échantillonnage systématique a deux faiblesses : 1) les évaluations qu'il produit ont une variance très élevée

lorsqu'il y a des caractéristiques de séries dans la répartition des terriers; et 2) il n'existe pas de méthode non biaisée pour évaluer la variance.

Bourdeau (1953) a noté que parfois, le manque de précision de l'échantillonnage aléatoire est compensé par la possibilité de bien évaluer l'erreur d'échantillonnage. Kingsley et Smith (1981) ont indiqué que dans bien des cas, une limite supérieure de la précision peut être évaluée pour les méthodes systématiques.

Les quadrats et transects ont fourni des évaluations exactes de la densité des terriers, alors que les méthodes de la distance du point central à l'intérieur de quadrants et de Batcheler avaient tendance à la surévaluer. Il a déjà été démontré que les techniques sans parcelle surévaluaient les populations réparties de façon uniforme et qu'elles sous-évaluaient les populations groupées (Cottam et Curtis, 1956; Pielou, 1959; Batcheler, 1971). Elles sont destinées à l'échantillonnage de populations réparties de façon aléatoire ou faiblement groupées.

Conclusions

(1) Dans notre étude, orienter les transects à peu près perpendiculairement au rivage s'est révélé la méthode la plus efficace, car les plus forts gradients de densité étaient orientés dans la même direction.

(2) Lorsque la détermination de l'emplacement des quadrats et les déplacements entre ceux-ci demandent peu d'efforts, les petits quadrats sont préférables aux grands. Lorsque le terrain est plus difficile à parcourir, la taille optimale des parcelles est différente, et les plus petites parcelles sont moins efficaces.

(3) Les techniques ne reposant pas sur des parcelles devraient être employées avec prudence tant que leur performance sur le terrain n'aura pas été étudiée de façon plus approfondie. Dans notre étude, elles ont donné des résultats biaisés.

(4) Avec le plan d'échantillonnage systématique, la précision est au moins aussi bonne qu'avec le plan stratifié, et l'effort nécessaire est beaucoup moins important, car il n'est pas nécessaire de délimiter des strates.

(5) Les avantages de l'échantillonnage aléatoire par rapport à l'échantillonnage systématique sont :

(a) une évaluation à peu près non biaisée de la précision et, par conséquent, un potentiel supérieur pour les inférences; et

(b) l'improbabilité qu'une variation régulière de la densité de la population soit attribuable au mode d'échantillonnage.

(6) Les avantages de l'échantillonnage systématique par rapport à l'échantillonnage aléatoire sont :

(a) une précision beaucoup plus élevée, en raison des gradients de densité généralement élevés qui existent dans les populations d'oiseaux de mer sur les aires de nidification, à cause du type d'habitat, de l'altitude, de la distance du rivage, etc., et en raison de la très faible possibilité que l'intervalle d'échantillonnage corresponde à une variation régulière dans la population;

(b) une plus grande facilité à établir l'emplacement des quadrats d'échantillonnage et, par conséquent, une plus grande précision pour un effort égal que ce que les résultats présentés ici peuvent l'indiquer.

(7) Dans l'ensemble, la méthode systématique s'est révélée plus exacte et plus précise que le plan d'échantillonnage aléatoire ou que les techniques sans parcelle.

Remerciements

Nous remercions D. Alcroft, D. Powell et D. Bertram pour l'assistance fournie sur le terrain, B. Foster pour nous avoir donné l'autorisation de travailler sur la Réserve écologique Anne Vallée ainsi que la Garde côtière du Canada pour nous avoir hébergé sur l'île Pine. Nous remercions également P. Whitehead pour avoir dessiné les figures et G. Kaiser, A. Gaston, B. Collins et A. Diamond pour les commentaires sur le contenu du manuscrit.

Bibliographie

Batcheler, C.L. 1971. Estimation of density from a sample of joint point and nearest-neighbour distances. Ecology 52:703–709.

Batcheler, C.L. 1973. Estimating density and dispersion from truncated or unrestricted joint point-distance, nearest-neighbour distances. Proc. NZ Ecol. Soc. 20:131–147.

Bourdeau, P.F. 1953. A test of random versus systematic ecological sampling. Ecology 34:499–512.

Campbell, R.C. 1976. Sea-bird colonies of Vancouver Island area. BC Prov. Mus. Spec. Publ. Victoria. Carte.

Cochran, W.G. 1977. Sampling techniques (3e éd.) John Wiley and Sons, New York and Toronto.

Cottam, G.; Curtis, J.T. 1956. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology 37:451–460.

Eberhardt, L.L. 1978. Appraising variability in population studies. J. Wildl. Manage. 42(2):207–238.

Harris, M.P.; Murray, S. 1981. Monitoring puffin numbers at Scottish colonies. Bird Study 28:15–20.

Kershaw, K.A. 1975. Quantitative and dynamic plant ecology. Am. Elsevier Publ. Co. Inc., New York.

Kingsley, M.C.S.; Smith, G.E.J. 1981. Analysis of data arising from systematic transect surveys. *Dans* Symposium on census and inventory methods for populations and habitats. For. Widl. Range Exp. Sta. Univ. Idaho, Moscou, Id. Contrib. No. 217.

Mueller-Dombois, D.; Ellenberg, H. 1974. Aims and methods of vegetation ecology. John Wiley and Sons, New York and Toronto.

Nettleship, D.N. 1976. Census techniques for seabirds of arctic and eastern Canada. Serv. can. de la faune, Pub. hors série n° 25.

Pielou, E.C. 1959. The use of point-to-point distances in the study of the pattern of plant populations. J. Ecol. 47:607–613.

Snedecor, G.W.; Cochran, W.G. 1967. Statistical methods, Iowa State Univ. Press.

Vermeer, K.; Vermeer, R.A.; Summers, V.R.; Billings, R.R. 1979. Numbers and habitat selection of Cassin's Auklet breeding on Triangle Island, British Columbia. Auk 96:143–151.

Tableau 1
Comparaison de la précision suivant que les transects sont perpendiculaires ou parallèles au rivage

Orientation	n	Dimensions des transects (m)	Superficie couverte (m^2)	Densité des terriers (par 100 m^2) ± ET*	Coefficient de variation (%)
Transects perpendiculaires au rivage	6	1 x 150	900	62 ± 5	22
Transects parallèles au rivage	13	1 x 50	650	65 ± 10	57

* ET = Erreur-type.

Tableau 2
Effort d'échantillonnage en fonction des dimensions des quadrats

(a) Erreur de type I = 0,05; erreur de type II = 0,10

Quadrat			Effort requis pour déceler une variation de					
			30 %		20 %		10 %	
Dimensions (m)	Superficie (m^2)	CV* (%)	n	Superficie (m^2)	n	Superficie (m^2)	n	Superficie (m^2)
2 x 2	4	57	62	248	140	560	557	2228
4 x 4	16	39	29	464	66	1056	261	4176
8 x 8	64	28	15	960	34	2176	135	8640

(b) Erreur de type I = 0,05 (i.e. limites de confiance à 95%)

Quadrat			Effort requis pour que les limites de confiance ne s'écartent pas de la moyenne de plus de					
			30 %		20 %		10 %	
Dimensions (m)	Superficie (m^2)	CV* (%)	n	Superficie (m^2)	n	Superficie (m^2)	n	Superficie (m^2)
2 x 2	4	57	14	56	32	128	125	500
4 x 4	16	39	7	112	15	240	59	944
8 x 8	64	28	4	256	8	512	31	1984

* CV = Coefficient de variation.

Tableau 3
Comparaison de la précision des échantillons aléatoire et systématique

Dimensions des quadrats (m)	Plan d'échantillonnage		
	stratifié	systématique	aléatoire
2 x 2	34	16	51
4 x 4	30	24	47
8 x 8	18	27	56
2 x 4	31	21	48
2 x 8	25	26	49
4 x 8	23	27	40
2 x 40	29	7	64
4 x 40	21	21	58
8 x 40	24	27	49
Moyenne	26	22	52

Tableau 4
Comparaison des techniques avec et sans parcelles dans la grille*

Technique	Densité estimative des terriers de l'Alque à bec cornu au 100 m^2 (± ET†)		
	Quadrat (2x2) n = 100	Points centraux n = 90	Batcheler n = 90
Échantillonnage systématique	85 ± 2	104 ± 5	119 ± 19
Échantillonnage aléatoire	85 ± 4	105 ± 5	128 ± 18

* Le dénombrement total des terriers dans la grille a indiqué une densité de 85 terriers/100m^2.
† ET = Erreur-type.

Tableau 5
Comparaison des techniques avec et sans parcelles dans deux habitats de l'île Pine

Habitat	Alque à bec cornu (nombre de terriers/100m^2) ± ET*		
	Transect†	Points centraux‡	Batcheler‡
A	54 ± 4	48 ± 6	50 ± 4
B	98 ± 8	81 ± 8	82 ± 16

* ET = Erreur-type
† n = 6, longueur = 50 m
‡ n = 23 points d'échantillonnage

Tableau 6
Comparaison des techniques par quadrats, par transects et de Batcheler dans différents habitats de l'île Triangle

Habitat	Densité estimative (terriers/100 m²), Alque de Cassin			
	Batcheler*			
	Avant ajustement	Après ajustement	Quadrat†	Transect‡
A	256 ± 59 n = 26	290 ± 59 n = 26	428 ± 21 n = 25	325 ± 20 n = 3
B	11 ± 3 n = 26	14 ± 3 n = 26	135 ± 20 n = 25	184 ± 25 n = 5
C	81 ± 5 n = 24	47 ± 5 n = 24	142 ± 19 n = 25	118 n = 1
D	75 ± 4 n = 17	38 ± 4 n = 17	146 ± 17 n = 25	136 n = 1
E	121 ± 5 n = 24	60 ± 5 n = 24	96 ± 15 n = 25	102 n = 1

* Voir Batcheler (1973).
† Quadrat de 1 m².
‡ Transect de 2 x 50 m.